Ann. Rep. Dryland Food Crop Imp. 105:72-87 (2016)

國產高直鏈澱粉玉米之機能性穀粉研發

陳裕儒[1]、黃永融[2] 、賴喜美[2]

行政院農業委員會農業試驗所

摘　　要

以農試所新育種並安全生產 (good agriculture practice, GAP) 之高直鏈澱粉玉米 (*ae*-mutant) 為試驗原料，建立高直鏈澱粉玉米之玉米全穀粉研磨技術。經由玉米全穀粉之理化性質測定與分析結果，建立高直鏈澱粉玉米之全穀粉規格，並進行玉米全穀粉貯存穩定性之評估。結果顯示，最適玉米籽粒研磨條件為，調適水分含量為 13%，但經濕熱處理後之玉米籽粒由於種皮變韌，第一次研磨後，仍有許多較粗粉粒殘留在磨粉機底層，因此，為達穀粉之粒徑範圍 (小於 212 μm)，必須將此部分再次研磨，以提高全穀粉之收率。相較於對照組 (未經熱處理者)，先以乾熱及濕熱處理玉米籽粒後，再行磨粉所製得之全穀粉，在 40℃加速儲藏 12 週後，全穀粉酸價僅些微上升，顯示磨粉前熱處理確實可抑制籽粒內之氧化酵素活性，使研磨後全穀粉內之油脂不至於快速氧化酸敗。而糊液黏度性質結果顯示，濕熱處理並不會造成糊液黏度的差異，但乾熱處理則會使全穀粉黏度大幅下降。外觀及氣味上，濕熱處理並不會造成穀粉顏色及風味的改變，而乾熱處理者則會使全穀粉色澤呈深褐色且有烤焙香味。濕熱處理對研磨樣品之一般成分上則沒有明顯之改變，細微的差異可能與磨粉過程中部分粉體的損失有關。機能性成分分析結果顯示，濕熱處理會使總黃色色素及總酚類化合物含量下降，而葉黃素及玉米黃素含量上升。消化率分析結果顯示，高直鏈澱粉玉米全穀粉之抗性澱粉含量較硬質玉米全穀粉為高且具有較低的 eGI 值，顯示前者可供作低升糖指數產品之開發應用。

關鍵詞：高直鏈澱粉玉米、玉米全穀粉、碾磨、儲藏試驗、消化性質。

前　　言

玉米 (*Zea mays* L.) 是目前世界產量僅次於稻米與小麥的第三大穀物雜糧作物，可供作人類糧食、牲畜飼料與生質燃料等用途。原產於中美洲，是印地安人培育的主要糧食作物。台灣在西元 1717 年就有玉米栽培的記載，至 1980 年時種植面積達 32,760 公頃，至 1987 年高達 79,660 公頃，但至 2012 年則僅剩 22,821 公頃。台灣玉米屬於內銷型產業，年消費量 400 多萬公噸，以食用玉米之年栽培面積最廣 (約 10,039 公頃)、年產量最高 (75,359 公噸)，其次為飼料玉米 (年栽培面積 6,607 公頃，年產量 29,825 公噸) 與青割玉米 (年栽培面積 6,176 公頃，年產量 292,120 公噸)，是雲嘉南地區重要的雜糧作物，占全國栽培面積 90%以上 (資料來源：行政院農委會玉米主題館 http://kmweb.coa.gov.tw/subject/mp.asp?mp=344)。

一般而言，玉米依據種子胚乳外觀特性的不同，可區分為馬齒種 (dent corn)，硬粒種 (flint corn)，爆裂種 (pop corn)，蠟質種 (waxy corn)，甜質種 (sweet corn) 等類型。蠟質種與甜質種為一般所稱的糯玉米與甜玉米，水煮後即可食用；爆裂種則是作為爆玉米花的原料使用。馬齒種玉米籽粒的側面為硬質澱粉，而頂端到內部為軟質澱粉，當子粒乾燥後便凹陷成馬齒形，一般作為動物飼

料及澱粉加工用。硬粒種玉米籽粒外側為硬質澱粉，內部極少為軟質澱粉，乾燥後頂部圓形有光澤，在食用、飼料與工業上廣為利用，其乾磨產物包括玉米粗粉、玉米細粉、玉米粉、粗玉米粒等，通常可用於粥品、玉米餅及擠壓點心食品。玉米粉液可經由預蒸煮步驟，製得預糊化玉米粉，使用時，加水便可製得玉米粉團。由於玉米之主要組成分為澱粉，因此，其分離出之玉米澱粉也是目前產量最多，用途最廣的天然澱粉，除了可直接適用於食品製造之主要或副原料外，也可水解製作成個是澱粉糖漿或其水解產物。除此之外，玉米亦是動物飼料中熱量的最佳來源，也是目前生質酒精的主要生產原料。

玉米籽粒可分為四個主要部分：胚乳 (83%)、胚芽 (11%)、果皮 (5%) 及籽粒尖端 (1%)。胚乳中以澱粉為主，主要有硬質 (透明)及軟質 (不透明) 澱粉兩種，研究指出硬質澱粉含量與反芻動物體內澱粉消化率成反比 (Ngonyamo-Majee et al., 2008)。玉米胚芽富含油脂 (33.3%)、酵素、維生素 B 群及維生素 E。玉米胚芽油中之多元不飽和脂肪酸含量高達 54.7%。果皮中以纖維素之含量為高 (粗纖維 8.8%)，而一般將玉米籽粒之果皮與尖端部位統稱為糠層 (bran) 則含有維生素 B 群及礦物質 (USDA, 2012)。

玉米籽粒為典型的全穀粒，又由於其種皮的顏色，使其含有較多具生物活性的植化合物 (phtyochemicals)，包括類胡蘿蔔素 (carotenoids)、葉黃素 (xanthophylls) (包括黃體素(lutein)與玉米黃質 (zeaxanthin)、酚類化合物 (phenolic compounds)、植物固醇 (phytosterols) 等 (Luo & Wang, 2012)。黃色玉米中含有 22 mg/kg 的原維生素 A (provitamin A) (Watson & Ramstad, 1987)，攝食後可於腸道代謝為維生素 A。葉黃素雖然無法在代謝過程中轉換為維生素 A，但具有比 β-胡蘿蔔素更高的抗氧化活性，除了有助保護眼睛免受氧化及高能量光線傷害外 (Landrum et al., 1997)，研究亦指出葉黃素對癌細胞的生長有延緩及抑制的功效 (Chew et al., 1996; Martin et al., 1996)。

目前世界澱粉總產量有 80%以上為玉米澱粉。以玉米作為澱粉的生產原料具有兩大優勢：可以長年儲藏且生產不受季節限制；玉米籽粒各部分都有較高的經濟利用價值比薯類更利於多元化應用。一般玉米籽粒中直鏈澱粉的含量只有 22–27%，高直鏈澱粉玉米則含有至少 50%以上的直鏈澱粉。相對於一般玉米澱粉，高直鏈玉米具有獨特的理化特性而有不同的應用用途。高直鏈澱粉玉米之澱粉與青香蕉、豌豆、扁豆澱粉同屬於不容易被水解酵素如 amylase、pullulanase 水解的第二類型抗性澱粉 (RS2) (Vidrine et al., 2014)。抗性澱粉對人類的身體健康有諸多的益處，諸如抗性澱粉不容易馬上被水解成葡萄糖進入能量代謝循環中，具有低升糖指數 (low glycemic index, low GI) 特性，因此可調節血糖濃度與預防第二型糖尿病的發生 (Maki et al., 2012)。且因高直鏈澱粉不易被水解，故可做為膳食纖維，除了具有促進腸胃蠕動之功能外，在腸道分解發酵所產生的短鏈脂肪酸，如醋酸、丙酸與丁酸，亦被證實可降低腸道酸鹼值，益於腸道益生菌生長，而降低結腸癌發生的風險。而短鏈脂肪酸也可提升腸道脂肪代謝效率，有助於人體血脂的調節。除此之外，由於直鏈澱粉的高抗剪切力與高糊化溫度，可利用高直鏈玉米澱粉製成高透明度、柔韌度及抗拉強度的生物可分解塑膠薄膜 (He et al., 2013)。

根據 Inglett (1970) 研究，全穀粉的品質劣化主要與油脂氧化酸敗有關，主要是酵素性的油脂氧化，且有多項研究指出全穀物磨粉時會使胚芽中富含的油脂與酵素相互接觸，因而造成油脂氧化酸敗，產生具不悅氣味的二級氧化產物。由上述可以得知，全穀

粉的油脂氧化主因與酵素有關，因此本計畫中亦會針對玉米籽粒於磨粉前使用不同方式之處理來達到抑制全穀粉氧化劣變之目的。目前對全穀粉之貯存品質尚未有一定的規範，僅針對食用玉米油之酸價訂定有國家標準 (CNS)。

材料與方法

一、材料：

本試驗所使用之玉米樣品包括台農 1 號 (TNG1) 及國產高直鏈澱粉玉米 (HAM)，由農業試驗所提供 (台中霧峰)。

二、樣品製備

(1) 國產硬質玉米全穀粉碾磨試驗

本計畫擬進行之玉米全穀粉碾磨試驗，主要有三種方式，分別為先調濕再乾燥法、乾熱處理法及濕熱處理法。

i. 先調濕再乾燥法

依據玉米籽粒之水分含量，若高於預定之研磨最適水分含量 (13%) 時，則將玉米籽粒平鋪於鐵盤上，並於 50℃烘箱中乾燥；若低於最適研磨水分含量時，則於裝有已知水分含量的玉米籽粒夾鏈袋內，分次緩緩加入經過計算所需添加之水量，邊加入邊混合直到外加水量完全加入後，密封夾鏈袋，靜置於室溫下一天，使其達到平衡。經調濕之玉米籽粒以氣引式磨粉機 (ALG-2，凌廣，台南)以 5 顆/秒之進料速率研磨製備玉米全穀粉(whole corn flour)，收率目標為 90 %以上。後續再將製得之玉米全穀粉平鋪於鐵盤上(約 1 cm 高)，放入 50℃的烘箱，分別乾燥 5、10、15 及 18 小時後，裝入密封袋，貯存於 4℃、備用。

ii. 乾熱處理

將玉米籽粒平鋪於鐵盤上，以 150±3℃烤箱分別乾燥 0 及 30 min，調濕後再以氣引式磨粉機 (ALG-2，凌廣，台南) 以 5 顆/秒之進料速率研磨製備玉米全穀粉，收率目標為 90 %以上。以雙層夾鏈袋收集，於 4℃貯存、備用。

iii. 濕熱處理

將玉米籽粒裝入不鏽鋼網子內，以 Autoclave (CL-32L，ALP，日本) 95℃處理 30 min，並調整水分為 13%。氣引式磨粉機 (ALG-2，凌廣，台南)以 5 顆/秒之進料速率研磨製備玉米全穀粉，並將殘留於底層較粗粒徑的穀粉過篩後再次進行研磨，收率目標為 90%以上。以雙層夾鏈袋收集，於 4℃貯存、備用。

(2) 國產高直鏈澱粉玉米全穀粉碾磨試驗

i. 先調濕再乾燥法

同國產硬質玉米，並將殘留於底層較粗粒徑的穀粉過篩後再次進行研磨。

ii. 濕熱處理

將玉米籽粒裝入不鏽鋼網子內，以 Autoclave (CL-32L，ALP，日本) 95℃處理 30 min，並調整水分為 13%。以氣引式磨粉機 (ALG-2，凌廣，台南) 以 5 顆/秒之進料速率研磨製備玉米全穀粉，並將殘留於底層較粗粒徑的穀粉過篩後再次進行研磨，收率目標為 90%以上。以雙層夾鏈袋收集，於 4℃貯存、備用。

三、玉米全穀粉貯藏試驗

將研磨好之玉米全穀粉，盡速以真空包裝機 (VAC550，FoodSave，美國) 真空包裝於 PE 材質密封袋中 並貯藏於 40℃烘箱中，每週取出，測定其水分及水活性，並萃取油脂以進行酸價測定。

分析及測定方法

一、全穀粉粒徑分布測定

將 14、35、50、70、100 及 150 mesh 篩網由上而下堆疊，取約 50 g 樣品置於篩網上，以振動篩分機 (勤鋼工業，新北市，臺

表 1. 試驗玉米樣品說明簡表

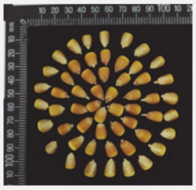
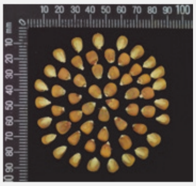
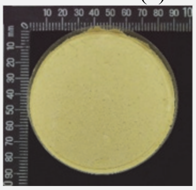
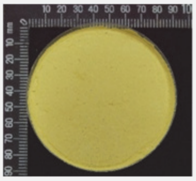
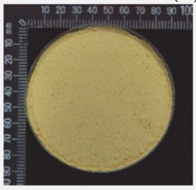
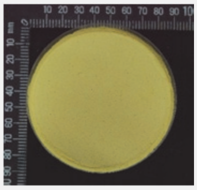
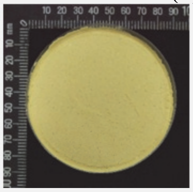
玉米來源	樣品	來源	代碼 (照片)	玉米來源	樣品	來源	代碼 (照片)
國產硬質玉米 (台農 1 號)	硬質玉米粒	農試所	TNG1 	**國產高直鏈澱粉玉米**	高直鏈澱粉玉米粒	農試所	HAM 
	硬質玉米全穀粉	自行磨製	m13TNG1F(1) 		高直鏈玉米全穀粉	自行磨製	m13HAMF(2) 
	乾熱處理硬質玉米全穀粉		DH/m13TNG1F(2) 		濕熱處理高直鏈玉米全穀粉		WH/m13TNG1F(2) 
	濕熱處理硬質玉米全穀粉		WH/m13TNG1F(2) 				

表 3. 磨粉試驗條件及樣品處理代號對照表

Table 3. The abbreviations of milling conditions used in this study

Sample code	Treatment	Moisture content (%)		Milling times
		Set up	Final	
m13TNG1F(1)	---	13	13.16	1
DH/m13TNG1F(1)	Dry-heated	13	11.52	1
WH/m13TNG1(2)	Wet-heated	13	13.91	2
m13HAMF(2)	---	13	12.48	2
WH/m13HAM(2)	Wet-heated	13	13.99	2

TNG1F: TNG1 flour
HAMF: HAM flour
m13: Tempering (MC:13%, db)
DH: Dry-heated
WH: Wet-heated
( ): milling times

灣) 搖晃 15 min，秤量殘留於各層篩網上之玉米穀粉重量，計算各層比例，並參考 American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE) (2012) 標準方法之公式計算玉米全穀粉的平均粒徑 (Dgw)，Sgw 為其標準差，Dgw 加或減一個標準差，表示群體中有 68 %落在粒徑區間。

$d_i = (d_u \times d_o)^{0.5}$

$D_{gw} = \log^{-1} [\frac{\sum(Wi \times \log di)}{\sum Wi}]$

$S_{gw} = \log^{-1} [\frac{\sum Wi \times (\log di - \log d_{gw})^2}{\sum Wi}]^{0.5}$

d_i：指定篩網上殘留物的平均粒徑

d_u：指定篩網前一個篩網的孔徑

d_o：指定篩網的孔徑

D_{gw}：樣品之幾何平均粒徑

S_{gw}：樣品之標準差

二、一般成分分析

樣品之水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分及總澱粉含量分別依據 AACC 44-31A、46-12、30-25、08-16 及 76-13 方法測定(AACC, 2000)。另外，樣品亦依據 AOAC 991.43 方法測得其可溶性膳食纖維 (soluble dietary fiber, SDF)、水不溶性膳食纖維(insoluble dietary fiber, IDF) 及總膳食纖維含量 (total dietary fiber) (AOAC, 1990)。

三、玉米全穀粉糊液黏度性質測定

1. 國產硬質玉米全穀粉

參考 AACC 76-21 (AACC, 2000) 之方法，將約 3 g 樣品 (乾重) 加蒸餾水至 25 mL 並混合均勻，以快速糊液黏度儀 (RVA 4, Newport Pty Ltd., Austria)進行測定。溫度設定為 35℃維持 1.5 min，以 6℃/min 的加熱速率加熱，並於 95℃維持 5 min，再以 6℃/min 的降溫速率由 95℃降溫至 35℃，於 35℃維持 5 min，攪拌速率為 160 rpm。

2. 國產高直鏈澱粉玉米全穀粉

參考 Ozturk (2009) 之方法，將 6.25 g 玉米穀粉 (乾重)，加入蒸餾水至 25 mL，快速混合後，以快速糊液黏度測定儀 (RVA 4, Newport Pty Ltd., Australia) 進行測定。起始及終止溫度均設定為 40℃，升溫及降溫速率為 5.5℃/min，升溫至 95℃後，維持此溫度 20 min；攪拌轉速為 960 rpm。

四、玉米全穀粉貯藏穩定性測定

1. 水活性測定

修改自 McCune 等 (1981) 之方法，樣品盤先秤重，裝入約 1 g 樣品後再稱重。將樣品置於裝有不同飽和鹽溶液且提前一星期平衡之密閉容器中。於 10–14 hr (或隔天) 取出樣品並稱重，將樣品水分增加或損失量 (Y 軸)，g water gain or loss/g dry solid of sample (±g water/g sample on dry basis) 對鹽飽和溶液對應出之 a_w (X 軸) 進行作圖，以求出樣品之水活性值 (即通過 X 軸之點)。

2. 酸價

玉米穀粉 (50 g) 加入正己烷 (500 mL)，於室溫下避光攪拌一天，以濾紙過濾，濾液於 30℃減壓濃縮至乾燥，放置於真空烘箱 40℃乾燥 10 min，萃取出的油脂貯存於-30℃備用。

精秤約 0.5 g 油脂樣品於錐形瓶中，加入 50 mL 之酒精/乙酸乙酯溶液(1：1, v/v)溶解油脂樣品，滴入酚酞試劑，再以 0.05N 標定之氫氧化鉀滴定，依據所消耗的氫氧化鉀量計算脂肪酸酸價(mg KOH/g fat)。

Acid value = [(S − B)×0.05×56.1]/W

S: 樣品滴定量 (mL)

B: Blank 之滴定量 (mL)

W: 油脂重量 (g)

五、玉米澱粉視直鏈澱粉含量

以澱粉—碘液親和性呈色法進行測定，秤取約 0.5 g 澱粉，以濾紙包覆，連同濾紙筒放入索式萃取裝置，以 75% n-propanal 進

行油脂萃取 16 h，以得到去脂澱粉並於 45℃烘箱中乾燥 24 h，冷卻 30 min 後，秤取 9 mg 澱粉，加入 1 mL 之 1M NaOH，於 4℃下靜置隔夜。加入 2 mL 85℃蒸餾水，於 85℃恆溫水浴中加熱 10 min，需震盪攪拌使澱粉完全溶出。取 0.1 mL 標準溶液或樣品溶液於試管中，加入 5 mL 之 0.5% TCA (trichloroacetic acid) 溶液，再加入 50 µL 之 0.01N I2-KI 溶液，混勻後避光靜置 30 min，於 620 nm 測定吸光值。直鏈澱粉標準品為以純化自馬鈴薯澱粉之純直鏈澱粉，及以糯性玉米澱粉代表之支鏈澱粉組合配製系列濃度之溶液，以供標準曲線之制定。

六、機能性成分測定

1. 總黃色素

參考自 AACC 14-50 方法並修改，玉米穀粉 (8 g) 加入 water saturated butanol (40 mL)，超音波震盪混合 30 min 後，以 Whatman No.1 濾紙過濾，濾液以分光光度計於 450 nm 測其吸光值。

2. 類胡蘿蔔素測定

參考 Wu 等人 (2008) 的方法將樣品以丙酮研磨萃取後抽氣過濾，分別以無水硫酸鈉及減壓濃縮法去除水分與溶劑，以石油醚回溶樣品，以 HPLC 分析。

3. 葉黃素測定

參考自 Perry et al. (2009) 並修改。精秤 1 g 玉米穀粉並加入 5 mL 甲醇，於 4°C 放置隔夜，於 3000 x*g* 離心 5 min，將甲醇層轉移至定量瓶中，再加入 5 mL tetrahydrofuran (THF)，於 3000 xg 離心 5 min，將 THF 層轉移至定量瓶與剛萃取之甲醇層合併，重複此步驟三次，並合併上清液，以氮氣吹乾。復溶於 1 mL 之 methyl-tert-butyl ether (MTBE): ethanol (1:2, v/v)，取 25 µL 注入 HPLC 系統分析。

HPLC系統使用Hitachi L-5160幫浦系統 (Hitachi Ltd., Tokyo, Japan)，保護管柱 YMC Carotenoids S-3 µm (23 × 4 mm I. D.)，分析管柱 YMC Carotenoids S-3 µm 150 cm × 4.6 mm I.D. (YMC CO., Ltd., Japan) 。流洗液 A 為 Methanol:MTBE:water (81:15:4, v/v, with 1.5% ammonium acetate in water) ，流洗液 B 為 Methanol: MTBE: water (9:91:0, v/v, with 1.0 % ammonium acetate in water)，流洗梯度起始為 100 % A，45 min 後升至 50 % A 及 50 % B，15 min 後漸升至 100 % B，工作流速為 1.0 mL/min，注射樣品容量為 20 µL，以光二極體陣列偵測器 (photodiode array detector, PDA) (L-7455, Hitachi Co., Japan) 偵測波長 450 nm 之吸光值。標準品選用 all-trans-lutein 及 all-trans-zeaxanthin，購自 ChromaDex (ChromaDex Inc., Santa Ana, CA) ，制定標準曲線，計算樣品中葉黃素之含量。

4. 總酚含量測定

修飾自 Taga 等 (1984) 之方法，精秤 1.0 g 樣品，加入 20 mL 80%甲醇溶液，於 60℃攪拌萃取 2 h。取 100 µL 萃取液，加入 100 µL 之 50% Folin-Ciocalteu's phenol reagent 及 2 mL 之 2%碳酸鈉溶液，測量 750 nm 之吸光值。以沒食子酸為標準品，計算沒食子酸當量。

七、玉米穀粉之消化性質

1. 體外澱粉消化性質

修改自 Englyst et al. (1992)、Englyst et al. (1999) 及 Li et al. (2008) 之方法。秤取 100 mg 樣品於玻璃試管中，加入 4 mL 0.1 M sodium acetate buffer (pH 5.2)，置於 37°C 預平衡 10 min，再加入 1 mL 酵素溶液(內含 pancreatic α-amylase (8 × USP, P7545, Sigma) 和 amyloglucosidase (300 U/mL, A9913, Sigma))。於 37°C 水浴反應 2 h，分別於反應時間 20 及 120 min，取出 100 µL 水解液加入含有 0.9 mL 之 80%乙醇溶液的微量離心管中，混合均勻以終止酵素反應後離心(1500 *xg*，2 min)。取 20 µL 上清夜，加入 600 µL glucose oxidase/peroxidase (GOPOD) 試劑，

在 50°C 水浴鍋下反應 20 min，於 510 nm 波長下測定吸光值，由公式可得酵素於 20 min (G20) 及 120 min (G120) 之水解葡萄糖量。

2. 升糖指數

參考 Englyst et al. (1999) 及 Anderson et al. (2010) 之方法並加以修訂，精秤 100 mg 樣品於玻璃試管中，加入 1 mL 0.5 M sodium acetate buffer (pH 5.2) 及 3 mL guar gum 溶液 (模擬胃之食糜狀)，置於 37°C 預平衡 10 min，再加入 1 mL 酵素溶液 (內含 pancreatic α-amylase (8 x USP, P7545, Sigma)、amyloglucosidase (300 U/mL, A9913, Sigma) 及 invertase (10 mg/mL, I4504, Sigma))，並以磁石攪拌反應。在 0、5、10、15、20、30、45、60、90、120 及 180 min 各取出 100 µL 水解液，以 0.9 mL 之 80%乙醇溶液終止酵素反應後，離心 (1500 xg, 5 min)。取 20 µL 上清夜，加入 600 µL glucose oxidase/peroxidase (GOPOD) 試劑，在 50°C 水浴鍋下反應 20 min，於 510 nm 波長下測定吸光值。利用統計軟體 Origin 8.0 回歸建立各樣品之酵素水解曲線後，可得平衡水解率 (C_∞) 及反應速率常數(k)，並由水解曲線下面積(Area under curve, AUC) 與標準品 (葡萄糖) 水解曲線面積的比值，計算出水解指數(Hydrolysis index, HI)，再以關係式 eGI=0.549HI+39.71 (Goñi et al., 1997) 得到推估升糖指數 (estimated glycemic index, eGI)。

結果與討論

一、玉米全穀粉碾磨試驗

1. 國產硬質玉米全穀粉

表 6 為不同調濕水分含量對於玉米全穀粉之粒徑分布影響。穀物乾磨前，通常會調濕以提高磨粉品質，調濕之目的在使麩皮韌化、軟化胚乳。因此，本試驗分別設定 11、13、及 15%水分 (乾基) 之調濕條件。結果得知，調濕至乾基 13%之樣品，其粒徑小於 212 µm 之粉體收量達 92%，且平均粒徑也較調濕至 11 與 15%水分含量者為小。因此，調濕至 13%水分含量 (乾基) 為硬質玉米磨粉之調濕條件。

表 7 為經乾熱處理及濕熱處理玉米籽粒所研磨之硬質玉米 (TNG1) 全穀粉之粒徑分布。結果顯示，經乾熱及濕熱處理之玉米籽粒所磨製之全穀粉之粒徑較大，且以濕熱處理者更為明顯，其小於 212 µm 的粉體粒徑比例降至 83%。參考 Gwirtz 及 Garcia-Casal (2014) 對各玉米穀粉之粒徑分布的定義，Corn Flour 粒徑須小於 212 µm，因此，為達到玉米穀粉之粒徑規格，後續經濕熱處理之玉米籽粒會將第一次磨粉後殘留於底層之較粗粒徑的穀粉過 70 mesh 篩網後，再次進行研磨。經過二次研磨後，小於 212 µm 的粉體粒徑比例可提高至 87%，但仍有少數較粗之大顆粒無法再磨細。此外，本試驗中發現，

表 6. 不同調濕水分含量下台農 1 號 (TNG1) 玉米全穀粉之粒徑分布

Table 6. The particle size distribution of TNG1 whole corn flour milled from the different tempering moisture s of TNG1 corn kernels

Sample	Particle size distribution (%)					D_{gw}	S_{gw}
	<0.212	0.212-0.3	0.3-0.6 (mm)	0.6-1.4	>1.4	(µm)	
m11TNG1F	89.58	2.36	5.76	2.30	0	117.23	1.60
m13TNG1F	91.73	3.94	3.28	1.05	0	108.91	1.50
m15TNG1F	86.39	5.14	6.77	1.70	0	120.83	1.63

The number of sample name (11, 13, and 15) means the tempering moisture content.

乾熱處理會使玉米籽粒顏色加深而呈褐色，風味改變顯著，其糊液性質亦呈顯著變化(圖一)。經濕熱處理者，其全穀粉之色澤、風味與糊液黏度性質則與未經濕熱或乾熱處理者較為接近。因此，後續將會以濕熱處理為主要手段。

(2) 國產高直鏈澱粉玉米全穀粉碾磨試驗

表 8 為濕熱處理之國產高直鏈澱粉玉米籽粒所磨製之全穀粉粒徑分布；經濕熱處理者，其平均粒徑亦較大，但經二次研磨後，小於 212 μm 的粉體粒徑比例亦可達到 92% 左右。

二、一般成分

表 9 為經乾熱與濕熱處之玉米籽粒所磨製之國產硬質玉米 (TNG1) 全穀粉之一般成分分析結果。玉米籽粒先經過濕熱處理再磨粉之樣品，除了膳食纖維含量外，其他成分皆有些微增加，但整體而言，全穀粉之一般成分含量並無明顯改變，些微的差異推測是來自於全穀粉碾磨過程中少許的損耗。國產硬質玉米之直鏈澱粉含量僅為 36.25%，與一般玉米澱粉之直鏈澱粉含量較相近。此外，經濕熱處理後之玉米籽粒直鏈澱粉含量均有小幅的上升。

表 7. 乾熱及濕熱處理台農 1 號(TNG1)玉米籽粒之全穀粉粒徑分布

Table 7. The particle size distribution of TNG1 whole corn flour milled from the dry heated and wet heated TNG1 kernels

Sample	Particle size distribution (%)					D_{gw} (μm)	S_{gw}
	<0.212	0.212-0.3	0.3-0.6 (mm)	0.6-1.4	>1.4		
m13TNG1F(1)	91.73	3.94	3.28	1.05	0	108.91	1.50
DH/m13TNG1F(2)	85.73	5.00	6.05	3.23	0	126.16	1.68
WH/m13TNG1F(1)	83.11	6.91	7.42	2.56	0	126.39	1.69
WH/m13TNG1F(2)	87.18	5.76	3.81	3.24	0	122.28	1.64

表 8. 乾熱及濕熱處理高直鏈澱粉玉米籽粒之粒徑分布

Table 8. Particle size distribution of whole high amylose corn flour milled from the wet-heat treated corn kernels

Sample	Particle size distribution (%)					Dgw (μm)	Sgw
	<0.212	0.212-0.3	0.3-0.6 (mm)	0.6-1.4	>1.4		
m13HAMF(2)	89.56	4.69	4.27	1.48	0.00	118.65	1.56
WH/m13HAMF(2)	92.24	2.99	3.79	0.99	0.00	114.02	1.50

表 9. 濕熱處理前後國產硬質玉米(TNG1)全穀粉之一般成分及總澱粉含量

Table 9. The composition and total starch content of TNG1 whole corn flour milled from the dry-heat treated corn grain

Sample	Moisture content, as is (%)	Crude protein dry basis (%)	Crude fat	Ash	Dietary Fiber			Total starch	Amylose content Starch (%)
					IDF	SDF	TDF		
TNG1	6.12[a]	8.77[a]	4.89[b]	1.51[a]	8.81[a]	1.08[a]	9.89[a]	61.74[a]	36.25[c]
m13TNG1F(1)	7.55[b]	8.75[a]	4.16[a]	1.52[a]	8.89[a]	1.13[a]	10.03[ab]	62.37[ab]	-[1]
WH/m13TNG1(2)	7.54[b]	9.23[a]	4.51[ab]	1.57[a]	9.45[a]	1.49[a]	10.94[b]	65.66[b]	41.73[b]

[1]Not determined.

表 10 為高直鏈澱粉玉米全穀粉之一般成分分析結果，同硬質玉米全穀粉，其組成分的些微差異推測為全穀粉碾磨過程中產物的少許損失。國產高直鏈玉米澱粉之直鏈澱粉含量接近 79%，但經過濕熱處理者則無顯著性差異。

三、玉米全穀粉糊液黏度性質

(1)國產硬質玉米全穀粉

圖 1 為台農 1 號全穀粉懸浮液 (10.6 %, dry basis) 之快速糊液黏度圖，結果顯示，經濕熱處理之玉米籽粒所磨製之全穀粉，其糊液黏度趨勢與未經加熱者一致，惟其黏度些微降低。但經乾熱處理之玉米籽粒所磨製之全穀粉，其糊液黏度趨勢與未經加熱及經濕熱處理者不同，且其黏度顯著降低；推測乾熱處理(50℃/30 min)對玉米籽粒之澱粉影響顯著。

(2)國產高直鏈澱粉玉米全穀粉

圖 2 為高直鏈澱粉玉米全穀粉懸浮液 (20%, dry basis) 之快速糊液黏度圖。結果顯示，經濕熱處理之玉米籽粒所磨製之全穀粉，其糊液黏度與未經熱處理者類似，均無明顯之尖峰黏度，但前者之黏度值顯著下降且無回凝黏度。

四、玉米全穀粉貯藏性質

(1) 國產硬質玉米全穀粉

表 11 為乾燥處理對台農 1 號玉米全穀粉水分、水活性及酸價之影響。結果顯示，經乾燥處理後全穀粉之水分及水活性皆有明顯之降低，隨著乾燥時間的增加，儲藏過程中酸價的上升呈趨緩現象，但整體而言，對於抑制油脂氧化的效果有限。儲存兩週後，僅有乾燥 18 h 者酸價低於 10 mg KOH/g，顯示玉米籽粒內之氧化酵素仍有作用，因此，後續高直鏈澱粉玉米便不再進行乾熱處理。

表 10. 濕熱處理前後國產高直鏈澱粉玉米全穀粉之一般成分及總澱粉含量

Table 10. The composition and total starch content of whole high amylose corn flour milled from the dry-heat treated corn grain

Sample	Moisture content, as is (%)	Crude protein dry basis (%)	Crude fat	Ash	Dietary Fiber			Total starch	Amylose content Starch (%)
					IDF	SDF	TDF		
HAM	7.67[b]	13.23[b]	5.36[c]	1.97[c]	34.52[b]	2.93[b]	37.45[c]	61.03[c]	78.80[a]
m13HAMF(2)	9.92[d]	12.00[b]	5.56[c]	2.12[c]	37.02[b]	2.71[b]	39.73[c]	62.34[c]	-
WH/m13HAMF(2)	8.14[c]	13.74[b]	5.48[c]	1.84[b]	37.84[b]	2.14[b]	39.98[c]	60.98[c]	82.10[a]

[1]Not determined.

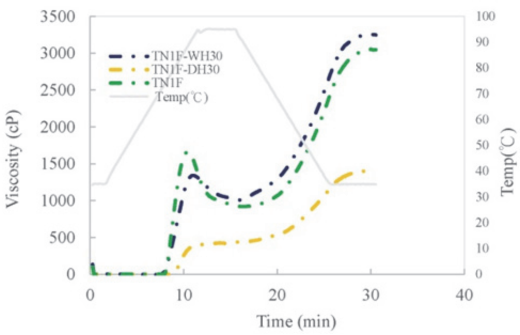


圖 1. 台農 1 號 (TNG1) 穀粉懸浮液 (10.6 %, dry basis) 之快速糊液黏度圖。

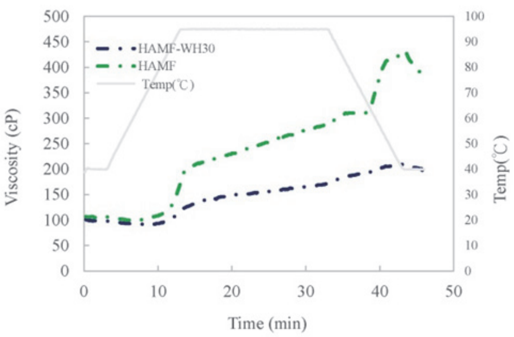


圖 2. 高直鏈澱粉玉米穀粉懸浮液(20%, dry basis) 之快速糊液黏度圖。

表 11. 碾磨後乾燥處理(50℃/0、5、10、15 及 18 h)對國產硬質玉米(TNG1)全穀粉之水分、水活性及酸價影響

Table 11. Effects of dry-heat treatment (50℃/0、5、10、15、18h) on moisture, a_w and acid value of whole corn flour (TNG1F)

Sample	Moisture content dry basis (%)	a_w	Acid value (mg KOH/g)
TNG1F-D0h-0W	10.18 ± 0.04	0.398 ± 0.011	3.84 ± 0.18
TNG1F-D0h-1W	9.79 ± 0.15	0.373 ± 0.001	25.81 ± 0.11
TNG1F-D0h-2W	9.72 ± 0.11	0.353 ± 0.004	26.68 ± 0.58
TNG1F-D0h-3W	8.91 ± 0.13	0.333 ± 0.009	41.35 ± 0.34
TNG1F-D5h-0W	5.58 ± 0.06	0.175 ± 0.006	4.16 ± 0.16
TNG1F-D5h-1W	5.04 ± 0.06	0.172 ± 0.001	8.81 ± 0.14
TNG1F-D5h-2W	5.87 ± 0.02	0.169 ± 0.000	13.37 ± 0.21
TNG1F-D5h-3W	5.27 ± 0.11	0.172 ± 0.001	15.62 ± 0.17
TNG1F-D5h-4W	5.92 ± 0.02	0.182 ± 0.003	38.70 ± 1.03
TNG1F-D10h-0W	4.74 ± 0.05	0.162 ± 0.002	4.33 ± 0.05
TNG1F-D10h-1W	5.03 ± 0.13	0.153 ± 0.000	8.34 ± 0.18
TNG1F-D10h-2W	5.33 ± 0.09	0.124 ± 0.007	11.57 ± 0.11
TNG1F-D10h-3W	4.97 ± 0.05	0.155 ± 0.002	14.00 ± 0.07
TNG1F-D10h-4W	6.13 ± 0.08	0.188 ± 0.003	38.29 ± 1.03
TNG1F-D15h-0W	4.68 ± 0.05	0.151 ± 0.003	4.72 ± 0.24
TNG1F-D15h-1W	4.64 ± 0.02	0.160 ± 0.005	7.97 ± 0.08
TNG1F-D15h-2W	4.97 ± 0.02	0.157 ± 0.009	10.60 ± 0.28
TNG1F-D15h-3W	4.66 ± 0.16	0.161 ± 0.001	13.32 ± 0.06
TNG1F-D15h-4W	5.43 ± 0.02	0.188 ± 0.003	31.22 ± 0.69
TNG1F-D18h-0W	4.35 ± 0.07	0.142 ± 0.003	4.80 ± 0.06
TNG1F-D18h-1W	4.27 ± 0.06	0.151 ± 0.006	7.26 ± 0.09
TNG1F-D18h-2W	4.78 ± 0.05	0.143 ± 0.001	9.80 ± 0.16
TNG1F-D18h-3W	4.72 ± 0.02	0.157 ± 0.003	12.52 ± 0.08
TNG1F-D18h-4W	5.76 ± 0.10	0.143 ± 0.001	31.82 ± 0.82

TNG1F: TNG1 flour; D: drying time; The number (0、5、10、15、18h) means different drying time; W: storage weak.

表 12 為乾熱處理(150℃/30 min)及濕熱處理(95℃/30min)對貯藏期間(25℃/6 wk)台農 1 號玉米全穀粉之水分、水活性及酸價之變化。整體而言，水分及水活性隨著貯藏時間之延長而增加，推測包裝材質有相當程度之水氣通透性。未經乾熱處理者其全穀粉酸價於貯藏一週後開始上升。但是，經乾熱處理者則無顯著的上升趨勢。濕熱處理會使得研磨後之全穀粉水活性上升，但整體而言，水分及水活性仍是隨著貯藏過程有下降之現象，經濕熱處理者其酸價在貯藏四週後仍穩定維持在 3.4 mg KOH/g 上下，十二週後則升至 5 mg KOH/g。

表 13 為乾熱處理(150℃/30 min)及濕熱處理 (95℃/30min) 玉米籽粒對貯藏期間(40℃/8 months) 台農 1 號玉米全穀粉之水分、水活性及酸價之變化。整體而言，水分及水活性隨著貯藏時間之延長而而減少，推測包裝材質有相當程度之水氣通透性。未經乾熱處理者其全穀粉酸價於貯藏 2 週後開始大幅上升。但是，經乾熱處理者，直至貯藏 4 週後才有小幅上升，第 8 週之樣品，其酸價則仍可維持在 4 mg KOH/g 上下。 濕熱處理會使得研磨後之全穀粉水活性上升，但整體而言，水分及水活性仍是隨著貯藏過程有下降之現象，經濕熱處理者其酸價則在貯藏 4 週後開始上升，但仍可維持在 10 mg KOH/g 以下。

表 12. 濕熱處理 (95℃/30min) 對國產硬質玉米(TNG1)全穀粉於 25℃貯存時之水分、水活性及酸價影響

Table 12. The moisture, a_w and acid value (AV) of TNG1 whole corn flour milled from the dry-heat treated corn grain (150℃/30min) and wet-heated (95℃/30min) during storage period (25℃)

Sample	Moisture content dry basis (%)	a_w	Acid value (mg KOH/g)
m13TNG1F(1)- 0W	8.17 ± 0.21	0.540 ± 0.002	8.84 ± 0.15
m13TNG1F(1)-1W	8.85 ± 0.06	0.537 ± 0.018	26.74 ± 0.22
m13TNG1F(1)-2W	10.55 ± 0.06	0.545 ± 0.000	54.89 ± 0.34
m13TNG1F(1)-3W	10.58 ± 0.29	0.547 ± 0.002	67.64 ± 0.51
m13TNG1F(1)-4W	10.42 ± 0.10	0.580 ± 0.010	78.71 ± 1.08
m13TNG1F(1)-5W	10.99 ± 0.14	0.601 ± 0.009	79.72 ± 1.10
m13TNG1F(1)-6W	11.26 ± 0.12	0.604 ± 0.002	108.96 ± 0.45
WH/m13TNG1(2)-0W	8.16 ± 0.21	0.586 ± 0.009	3.07 ± 0.41
WH/m13TNG1(2)-1W	7.88 ± 0.30	0.550 ± 0.023	3.11 ± 0.11
WH/m13TNG1(2)-2W	9.70 ± 0.05	0.571 ± 0.015	3.32 ± 0.23
WH/m13TNG1(2)-4W	7.95 ± 0.50	0.546 ± 0.003	3.41 ± 0.38
WH/m13TNG1(2)-9W	11.65 ± 0.43	0.518 ± 0.001	4.24 ± 0.52
WH/m13TNG1(2)-12W	11.78 ± 0.22	0.562 ± 0.001	4.26 ± 0.49

W: storage weak.

表 13. 乾熱處理 (150℃/30min) 及濕熱處理 (95℃/30min) 對國產硬質玉米 (TNG1) 全穀粉於 40℃貯存時之水分、水活性及酸價影響

Table 13. The moisture, a_w and acid value (AV) of TNG1 whole corn flour milled from the dry-heat treated corn grain (150℃/30min) and wet-heated (95℃/30min) during storage period (40℃)

Sample	Moisture content dry basis (%)	a_w	Acid value (mg KOH/g)
m13TNG1F(1)-0W	8.17 ± 0.21	0.540 ± 0.002	8.84 ± 0.15
m13TNG1F(1)-1W	8.85 ± 0.06	0.437 ± 0.007	49.82 ± 1.38
m13TNG1F(1)-2W	9.85 ± 0.18	0.460 ± 0.003	82.38 ± 0.92
m13TNG1F(1)-3W	9.94 ± 0.06	0.487 ± 0.009	91.52 ± 2.68
m13TNG1F(1)-4W	10.42 ± 0.10	0.490 ± 0.015	90.12 ± 1.22
m13TNG1F(1)-5W	9.09 ± 0.12	0.465 ± 0.004	89.99 ± 0.37
DH/m13TNG1F(2)-0W	9.49 ± 0.09	0.389 ± 0.023	3.32 ± 0.23
DH/m13TNG1F(2)-1W	8.76 ± 0.24	0.366 ± 0.002	3.62 ± 0.07
DH/m13TNG1F(2)-2W	8.12 ± 0.03	0.300 ± 0.001	3.44 ± 0.07
DH/m13TNG1F(2)-3W	6.76 ± 0.08	0.267 ± 0.002	3.25 ± 0.17
DH/m13TNG1F(2)-4W	7.07 ± 0.07	0.226 ± 0.003	3.08 ± 0.19
DH/m13TNG1F(2)-5W	6.57 ± 0.03	0.227 ± 0.003	4.10 ± 0.15
DH/m13TNG1F(2)-6W	6.57 ± 0.04	0.226 ± 0.000	4.38 ± 0.21
DH/m13TNG1F(2)-7W	5.64 ± 0.04	0.222 ± 0.001	3.86 ± 0.22
DH/m13TNG1F(2)-8W	6.55 ± 0.02	0.216 ± 0.005	4.10 ± 0.10
WH/m13TNG1(2)-0W	12.56 ± 0.03	0.645 ± 0.006	3.89 ± 0.14
WH/m13TNG1(2)-1W	11.97 ± 0.11	0.612 ± 0.000	3.96 ± 0.05
WH/m13TNG1(2)-2W	11.60 ± 0.19	0.601 ± 0.004	3.73 ± 0.22
WH/m13TNG1(2)-3W	9.69 ± 0.17	0.536 ± 0.003	4.25 ± 0.15
WH/m13TNG1(2)-4W	9.84 ± 0.13	0.562 ± 0.008	4.74 ± 0.06
WH/m13TNG1(2)-5W	9.34 ± 0.20	0.548 ± 0.014	6.99 ± 0.11
WH/m13TNG1(2)-6W	9.25 ± 0.23	0.552 ± 0.014	7.64 ± 0.20
WH/m13TNG1(2)-7W	9.53 ± 0.03	0.530 ± 0.010	7.82 ± 0.14
WH/m13TNG1(2)-8W	9.13 ± 0.37	0.553 ± 0.001	7.99 ± 0.30
WH/m13TNG1(2)-12W	8.96 ± 0.13	0.502 ± 0.008	7.70 ± 0.07

W: storage weak

(2) 國產高直鏈玉米全穀粉

表 14 為濕熱處理玉米籽粒對高直鏈澱粉玉米全穀粉於 25℃貯存時之水分、水活性及酸價之影響，貯藏期間之變化趨勢與硬質玉米全穀粉類似，惟高直鏈玉米全穀粉之初始酸價較高，此可能為玉米籽粒原料之採收後乾燥條件、玉米特性與儲存條件(溫濕度)有關。經濕熱處理之高直鏈玉米全穀粉直至目前已儲藏 10 周，酸價僅小幅上升。

表 15 為濕熱處理玉米籽粒對高直鏈澱粉玉米全穀粉於 40℃貯存時之水分、水活性及酸價之影響，貯藏期間之變化趨勢似與 25℃貯藏類似。經濕熱處理之高直鏈玉米全穀粉直至目前已儲藏 10 週酸價僅小幅上升，故後續以此研磨條件分別製備 3.5 及 24.5 Kg 之玉米全穀粉，提供農科院進行調節餐後血糖及降血脂之動物試驗飼料配製。

五、機能成分測定

玉米富含許多機能性成分，其中以類胡蘿蔔素及酚酸佔大宗，表 16 為玉米全穀粉總黃色色素、葉黃素及總酚化合物之含量。結果顯示，高直鏈澱粉玉米全穀粉的總黃色色素、葉黃素及總酚含量皆比硬質玉米籽粒穀粉為高，推測可能與澱粉充實程度有關。高直鏈澱粉玉米籽粒之澱粉充實程度顯著低於硬質玉米籽粒，胚芽及麩皮的比例相對增

表 14. 濕熱處理 (95℃/30min) 對高直鏈澱粉玉米全穀粉於 25℃貯存時之水分、水活性及酸價影響

Table 14. The effect of moisture content, a_w and acid value of whole high amylose corn flour milled from the wet-heat treated corn grain during storage period (25℃)

Sample	Moisture content dry basis (%)	a_w	Acid value (mg KOH/g)
m13HAMF(2)-0W	9.50 ± 0.47	0.536 ± 0.002	66.25 ± 0.37
m13HAMF(2)-1W	9.81 ± 0.25	0.558 ± 0.014	147.46 ± 3.36
m13HAMF(2)-2W	10.07 ± 0.22	0.546 ± 0.003	192.99 ± 8.56
m13HAMF(2)-3W	10.54 ± 0.16	0.583 ± 0.008	211.30 ± 0.44
WH/m13HAM(2)-0W	8.14 ± 0.20	0.399 ± 0.004	15.28 ± 0.09
WH/m13HAM(2)-1W	6.29 ± 0.12	0.514 ± 0.005	16.54 ± 0.16
WH/m13HAM(2)-2W	6.72 ± 0.22	0.419 ± 0.003	15.62 ± 0.03
WH/m13HAM(2)-3W	8.17 ± 0.17	0.504 ± 0.001	14.96 ± 0.21
WH/m13HAM(2)-6W	10.75 ± 0.14	0.339 ± 0.006	18.60 ± 0.38
WH/m13HAM(2)-10W	11.25 ± 0.12	0.326 ± 0.003	17.89 ± 0.64

W: storage weak

表 15. 濕熱處理(95℃/30min)對高直鏈澱粉玉米全穀粉於 40℃貯存時之水分、水活性及酸價影響

Table 15. The effect of moisture content, a_w and acid value of whole high amylose corn flour milled from the wet-heat treated corn grain during storage period (40℃)

Sample	Moisture content dry basis (%)	a_w	Acid value (mg KOH/g)
m13HAMF(2)-0W	9.50 ± 0.47	0.536 ± 0.002	66.25 ± 0.37
m13HAMF(2)-1W	8.71 ± 0.48	0.518 ± 0.002	193.92 ± 7.95
m13HAMF(2)-2W	8.75 ± 0.30	0.532 ± 0.001	249.98 ± 4.09
m13HAMF(2)-3W	9.82 ± 0.38	0.474 ± 0.014	213.64 ± 2.22
WH/m13HAM(2)-0W	8.14 ± 0.20	0.399 ± 0.004	15.28 ± 0.09
WH/m13HAM(2)-1W	6.11 ± 0.15	0.464 ± 0.014	14.92 ± 0.16
WH/m13HAM(2)-2W	6.17 ± 0.12	0.419 ± 0.003	14.78 ± 2.45
WH/m13HAM(2)-3W	7.39 ± 0.26	0.478 ± 0.004	14.20 ± 0.26
WH/m13HAM(2)-6W	8.49 ± 0.21	0.511 ± 0.008	16.22 ± 0.54
WH/m13HAM(2)-10W	8.08 ± 0.25	0.527 ± 0.001	17.97 ± 0.06

W: storage weak

加，而總黃色色素、葉黃素、玉米黃素及總酚含量主要分布於胚芽及麩皮中，因而使得高直鏈澱粉玉米全穀粉的總黃色色素、葉黃素、玉米黃素及總酚含量高於硬質玉米全穀粉。玉米籽粒經過濕熱處理後再碾磨，無論高直鏈或硬質玉米之總黃色色素及總酚類化合物皆有下降之趨勢，然而在葉黃素及玉米黃質則呈現相反之現象，推測原因可能是即使是95℃/30min之處理亦不足以造成葉黃素及玉米黃素的破壞，但卻會導致部分色素及酚類化合物之破壞。

六、玉米全穀粉之消化性質

表 17 為玉米全穀粉之快速消化澱粉(rapidly digestible starch, RDS)、慢性消化澱粉(slowly digestible starch, SDS)以及抗性澱粉(resistant starch, RS)含量。為方便比較，會將 SDS 及 RS 之總和除以總澱粉含量，以計算兩者在澱粉中的比例。結果顯示，高直鏈澱粉玉米全穀粉的SDS含量較硬質玉米全穀粉為低，但抗性澱粉含量則較高。本試驗之高直鏈澱粉玉米之抗性澱粉絕對含量高於硬質玉米全穀粉，且其抗性澱粉佔總澱粉之相對含量也大於後者。比較穀粒經濕熱處理後所磨製成之全穀粉，可觀察到硬質玉米的 RS 含量明顯提升，而高直鏈玉米則是沒有顯著差異，推測此結果可能與平均粒徑大小有關。經過濕熱後之硬質玉米於碾磨過程中較不易被磨細，造成其平均粒徑較大，致使其消化速率降低。

表 18 為國產硬質玉米及高直鏈澱粉玉米全穀粉體外消化動力學參數及推估升糖指數之結果，得知高直鏈玉米升糖指數明顯低於硬質玉米全穀粉，顯示前者屬於低升糖指數食材。而經濕熱處理後再磨粉之玉米全穀粉，則無論是來自硬質玉米或高直鏈玉米皆無明顯的差異。

表 16. 濕熱處理(95℃/30min)對國產硬質玉米(TNG1)及高直鏈澱粉玉米全穀粉總黃色色素、葉黃素、玉米黃素及總酚類化合物含量之影響

Table 16. The total yellow pigments, lutein, zeaxanthin content and total phenolic compound of TNG1 and whole high amylose corn flour milled from the wet-heat treated corn grain

Sample	Total yellow pigment	Lutein	Zeaxanthin	TPC[1]
	(μg/g, on dry basis)			(mg Ferulic acid/g, db)
m13TNG1F(1)	31.9 ± 0.35[d]	5.7 ± 1.07[c]	4.74 ± 1.42[c]	2.73 ± 0.03[a]
WH/m13TNG1(2)	29.9 ± 0.29[c]	6.26 ± 2.02[c]	6.07 ± 0.08[bc]	2.43 ± 0.02[b]
m13HAMF(2)	112.6 ± 1.61[a]	19.18 ± 3.1[a]	7.37 ± 0.22[b]	3.73 ± 0.33[b]
WH/m13HAM(2)	105.1 ± 0.33[b]	30.27 ± 1.15[b]	12.03 ± 0.54[a]	2.87 ± 0.12[b]

[1] Total phenolic compound.

表 17. 濕熱處理 (95℃/30min) 對國產硬質玉米 (TNG1) 及高直鏈澱粉玉米全穀粉澱粉體外消化性質之影響

Table 17. *in vitro* digestibility of TNG1 and whole high amylose corn flour milled from the wet-heat treated corn grain

Sample	RDS[2]	SDS[3]	RS[4]	$\frac{(SDS + RS)}{TS^5}$	$\frac{RS}{TS}$
		%, db		%	
m13TNG1F(1)	19.94 ± 0.38[a]	39.03 ± 0.21[a]	2.76 ± 0.57[c]	67.01[b]	4.43[c]
WH/m13TNG1(2)	19.79 ± 0.85[a]	34.07 ± 0.66[b]	11.80 ± 0.19[b]	69.86[a]	17.97[b]
m13HAMF(2)	17.80 ± 0.66[b]	22.68 ± 1.58[c]	21.87 ± 2.24[a]	71.45[a]	35.08[a]
WH/m13HAM(2)	18.53 ± 1.32[ab]	21.12 ± 1.63[c]	21.33 ± 1.31[a]	69.61[ab]	34.98[a]

[1] N: native starch; [2]RDS: rapidly digestible starch; [3]SDS: slowly digestible starch; [4]RS: resistant starch; [5]TS: total starch.

表 18.濕熱處理(95℃/30min)對國產硬質玉米(TNG1)及高直鏈澱粉玉米全穀粉體外消化動力學參數 [1] 及推估升糖指數 [2] 之影響

Table 18. Kinetic of *in vitro* digestibility and estimated glycemic index of TNG1 and whole high amylose corn flour milled from the wet-heat treated corn kerenls

Sample	C_∞	k	R^2	HI	eGI
m13TNG1F(1)	61.35	0.02	0.939	41.99	62.76
WH/m13TNG1(2)	52.02	0.03	0.963	42.00	62.77
m13HAMF(2)	32.51	0.03	1.000	26.69	54.36
WH/m13HAM(2)	31.48	0.02	1.000	22.10	51.84

[1] C_∞: potential digestibility of starch (g/100g dry starch); k: kinetic constant; HI: calculated by using glucose as reference (HI = 100)

[2] eGI: calculated by using the equation proposed by Goñi, et al. (1997)

引用文獻

AACC 2000. Approved Method of the American Association of Cereal Chemists., Minneapolis, MN, USA: AACC Inc.

Afoakwa EO, Sefa-Dedeh S, Budu AS, Sakyi-Dawson E, and Asomaing J. 2007. Influence of spontaneous fermentation on some quality characteristics of maize-based cowpea-fortified nixtamalized foods. African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development 7: 1–18.

AOAC 1990. Official Method of Analysis, 15th ed., Arlington, VA, USA: AOAC International.

American Society of Agricultural & Biological Engineers, 2012. Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving.

Chew BP, Wong MW, Wong TS. 1996. Effects of lutein from marigold extract on immunity and growth of mammary tumors in mice. *Anticancer Research* 16: 3689-3694.

Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 2012. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 25. Nutrient Data Laboratory Home Page, at http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl (accessed November 25).

Inglett, G.E. 1970. Food use of corn around the world. In Corn: Culture, Processing, Products, Inglett, p. 145.

Landrum JT, Bone RA, and Kilburn MD. 1997. The macular pigment: a possible role in protection from age-related macular degeneration. *Advanced Pharmacology* 38: 537-556.

Luo Y and Wang Q. 2012. Bioactive compounds in corn. In: Yu L, Tsao R and Shahidi F. *Cereals and Pulses Nutraceutical Properties and Health Benefits*. Wiley-Blackwell, Oxford, UK. pp. 85-103.

Martin KR, Eailla ML, Smith JC. 1996. β-carotene and lutein protect HepG2 human liver cells against oxidant-induced damage. *Journal of Nutrition* 126: 2098-2106.

McCune TD, Lang KW and Steinberg MS. 1981. Water activity determination with the proximity equilibration cell. J Food Science 46:1978-1979.

Ngonyamo-Majee D, Shaver RD, Coors JG, Sapienza D and Lauer JG. 2008. Relationships between kernel hardness parameters and dry matter degradability for diverse corn germplasm II. Ruminal and post-ruminal degradabilities. Animal Feed Science and Technology 142: 259-274.

Ozturk S, Koksel H and Ng PKW. 2009. Characterization of resistant starch samples prepared from two high-amylose maize starches through debranching and heat treatments. *Cereal Chemistry* 86: 503–10.

Rooney LW and Serna-Saldavar SO. 2003. Food Uses of whole corn and dry-milled fractions. In: *Corn: Chemistry and Technology.* White P. J. and Johnson L. A. Cereal Quality Lab, Texas A&M University, College Station, Texas, USA. pp. 495-535.

Sahai D, Mua JP, Surjewan I, Buendia MO, Rowe M and Jackson DS. 2001. Alkaline processing (Nixtamalization) of white Mexican corn hybrids for tortilla production: Significance of corn physicochemical characteristics and process conditions. *Cereal Chemistry* 78: 116-120.

Watson SA and Ramstad PE. 1987. *In*: Corn: Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists Inc., Minnesota, USA. 453-455.

Yongqiang He, Xingrui Wang, Di Wu, Qiaojuan Gong, Haixia Qiu, Yue Liu, Tao Wu, Junkui Ma and Jianping Gao. 1996. Biodegradable amylose films reinforced by graphene oxide and polyvinyl alcohol. Materials Chemistry and Physics 142 (2013) 1-11

He, Y., Wang, X., Wu, D., Gong, Q., Qiu, H., Liu, Y., Wu, T., Ma, J., and Gao, J. (2013). Biodegradable amylose films reinforced by graphene oxide and polyvinyl alcohol. Materials Chemistry and Physics, 142(1), 1-11.

Research and Development of Taiwanese High Amylose Maize Whole Grain Flours for the Functional Food Applications

Yu-Ru Chen[1], Yong-Rong Huang[2] and Hsi-Mei Lai[2]

[1] Taiwan Agricultural Research Institute, COA, Taichung, Taiwan

[2] Department of Agricultural Chemistry, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

Abstract

Corn (Maize) is the most important cereal crop in the world. The health benefits of whole grains heve been scientifically proven and widely repoted, thus the development of the whole grain products have gained much high attention in the food industry. The dry milling corn priducts served as main dishes and used for snack-making have a long histroy. While most of these corn-based produscts are prepared from the degermed and debraned corns. The crucial problem of the milled whole grain products is to prevent them from the rancidity. Therefore, the objective of this study is to evaluate the effects od dry- and wet- heating treatments before milling process on the storage stability and psyciochemical properties of whole grain products. In the experiment, tempering the corn kernels to moisture content of 13% could obtained the most homogeneous and finest whole corn flour. In addition, both dry- and wet- heating pretreatments are able to produce the storage stable whole corn flour resulting from low a_w and acid value durng 12 weeks of storage at 40℃. Nevertheless, dry-heating pretreatment would decease pasting viscosity and developing brown color. The wet- pretreatment would not change the properties of whole corn flours, similar to the properties of whole corn flour without pretreatment. After the dry miling, there are no significant differences in the chemical compositions between whole corn flours with and without pretreatment. However, the contents of total yellow pigment of whole corn flour milled from the pretreated kernels are slightly decreased. The *in vitro* digestibility of the whole corn flour reveals that the whole high amylose corn flours have high content of resistant starch with low eGI value compared with normal corn variety TNG 1. Base on the results mentioned above, high amylose corn has great potentials of ingredients for development of the functional food products.

Key words: Corn.